Appendix 2

最新の高速トランシーバ内蔵 FPGAの実力

伊藤 響

本稿では，米国Altera社が発売した高速トランシーバ内蔵FPGA「Arria GX」について紹介する．本FPGAを使用した場合のPCI Express伝送の実力値を計測してみた．（編集部）

1 高速トランシーバ内蔵「Arria GX」とは

FPGAは技術的に難易度の高いPCI Expressの実装を，比較的容易にしてくれるデバイスです．メーカから提供される開発キット（評価ボード）を参考にすれば，ボード設計においても大きな助けになります．

「Arria GX」は米国Altera社から提供される高速トランシーバを内蔵した低コストFPGAです（**写真1**）．Arria GXはPCI Express，ギガ・ビットEthernet，Serial RapidIOの3種類のプロトコルをサポートします．**表1**にArria GXのラインナップを示します．

大まかな値ですが，DDR2メモリコントローラで2000LE（Logic Element），PCI Express（x4）で12000LEほど使用します．例えば，Altera社の評価ボードに搭載されているEP1AGX60は，約60000LEの規模です．メモリ・コントローラとPCI ExpressのIP（Intellectual Property）コアを実装しても，かなり余裕がありそうです．

x1のPCI Expressを実装したいだけならば一番小規模のEP1AGX20Cを選択すればよいでしょう．PCI Expressのほかに Serial RapidIOなどの別の高速インターフェースが必要な場合や，大規模なユーザ回路を実装する必要があるのならEP1AGX60，EP1AGX90と大規模なものを選択できます．

2 Arria GXのPCI Express転送の実力

● Arria GX評価ボードの概要

Altera社が提供するArria GX評価ボードは，パソコンのPCI Expressスロットにそのまま挿入して評価できます（**写真2**）．また，電源アダプタから電源を供給することによりボード単体でも動作させられます．このボードを使えば，自分が開発しているボードが完成する前にFPGA内のPCI Express周辺の回路や，オリジナルの回路の動作をチェックできます．ブロック図を**図1**に示します．

回路図やガーバ・データも提供されるので，電源周りやDDR2メモリ，PCI Expressなどのボード設計の参考になると思います．FPGA内蔵の温度検知ダイオードや温度センサを使ったファンのコントロール回路が搭載されています．コンフィグレーションにはフラッシュ・メモリと制御用CPLD（MAX II）を搭載しています．ボードはFR-4の6層基板です．

● 測定系を構築

本評価ボードを使ってArria GXのPCI Express転送速度を測定してみました．使用したパソコンは，米国Dell社のPrecision 470 Workstation（チップセットはIntel E7525）です．この

写真1 Arria GXの外観

写真2 今回使用した評価ボードの外観
本評価ボードはPCI Expressアドイン・カードになっているため，このままパソコンのスロットに挿入して使える．また，コンフィグレーション用フラッシュ・メモリやDDR2メモリを搭載している．価格は995ドルで，Altera社の販売代理店から購入できる（国内価格は販売代理店に問い合わせのこと）．

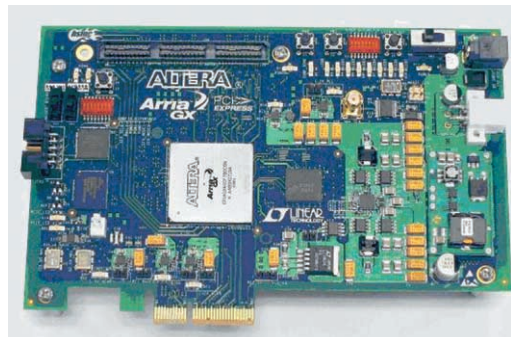
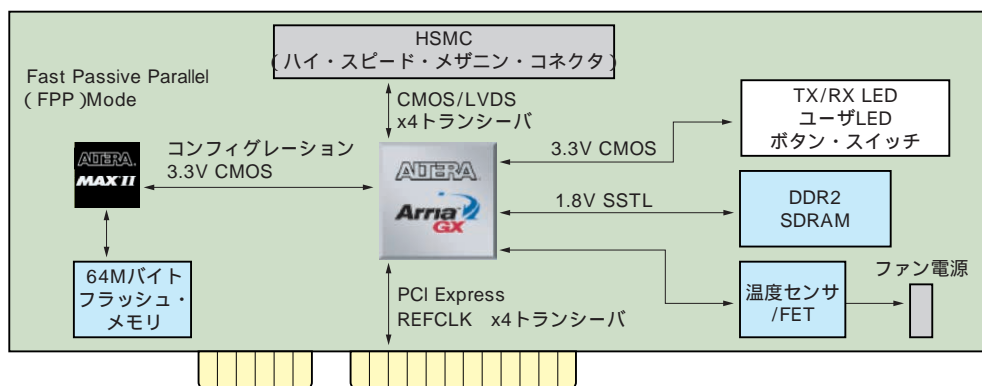



表1　Arria GXの種類(2007年10月現在)

項　目	EP1AGX20C	EP1AGX35C/D		EP1AGX50C/D		EP1AGX60C/D/E			EP1AGX90E
ピン数	484ピン, 780ピン	484ピン	780ピン	484ピン	780ピン	484ピン	780ピン	1152ピン	1152ピン
等価LE数	21,580	33,520		50,160		60,100			90,220
トランシーバ・チャネル数	4	4	8	4	8	4	8	12	12
トランシーバ・データ・レート	1.25Gbps, 2.5Gbps	1.25Gbps, 2.5Gbps		1.25Gbps, 2.5Gbps		1.25Gbps, 2.5Gbps			1.25Gbps, 2.5Gbps

図1
Arria GX評価ボードのブロック図
Arria GXのほかにフラッシュ・メモリからのコンフィグレーションを制御するため，CPLD(MAX II)が搭載されている．HSMCは拡張用のコネクタとして使用する．

パソコンのx16スロットに本評価ボードをセットします(**写真3**)．

今回はArria GXのPCI Express性能を試すためにDMA(Direct Memory Access)転送(リード/ライト)を実行しました．データの流れは**図2**のようになります．

DDR2メモリコントローラとPCI ExpressはAltera社の「OpenCore Plus IPメガファンクション」と呼ばれるIPコアを利用します．OpenCore Plus IPメガファンクションは有償のものでも，無償で評価することができます．GUI(Graphical User Interface)によってパラメータを設定できるので非常に便利です．

● PCI Express x4 DMA転送速度を測定

実際にデモンストレーションを実行してみました．**図3(a)**がDMAリードを実行した結果です．655Mバイト/sでデータを転送しました．

次にDMAライトを実行すると889Mバイト/sでデータを伝送しました〔**図3(b)**〕．

この結果を考察してみましょう．PCI Express x4の物理速度は2.5Gbpsで4レーンなので10Gbpsです．8b/10b符合があるので実際のデータ伝送速度は，10Gbps×8/10＝8Gbps＝1Gバイト/s＝1024Mバイト/sです．

ここにプロトコル上の処理として，ペイロードに対して各レイヤに追加されるヘッダ/フッタ，ACK/NAKパケットのやりとりなどの速度低下要素があります．

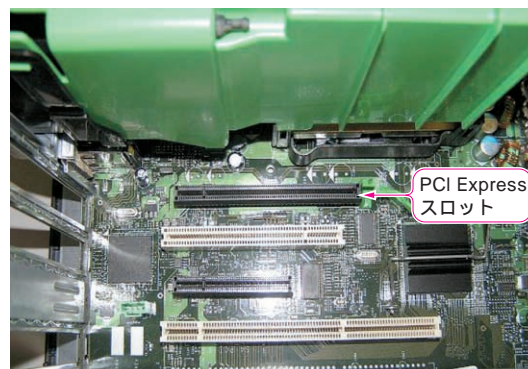
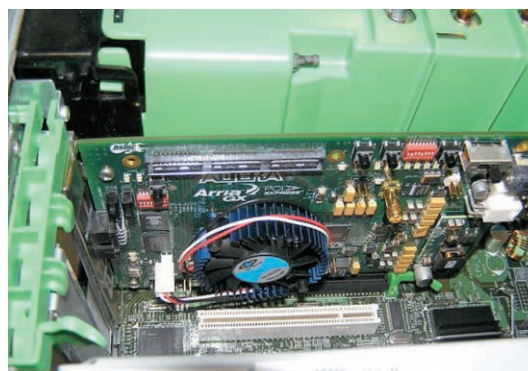
使用するパソコンによっても違いますが理論上の最大転送レー

(a) パソコンのPCI Expressスロット

(b) スロットに本評価ボードを差したところ

写真3　転送速度測定系の組み立て
今回使用したパソコンはスロットが少なく，スペースも非常に狭いため，ボードの挿入がややたいへんだった．使用するPCI Expressスロットの隣にビデオ・カードを挿入しなければならず，ボード同士がぶつからないか心配だった．とりあえず問題なく無事に挿入することができた．

図2
転送速度測定のイメージ
Arria GXによるエンドポイントDMAリードおよびエンドポイントDMAライト．実際にはパソコンのメモリとArria GX評価ボード上のDDR2メモリとの間でPCI Expressを介してデータが転送される．

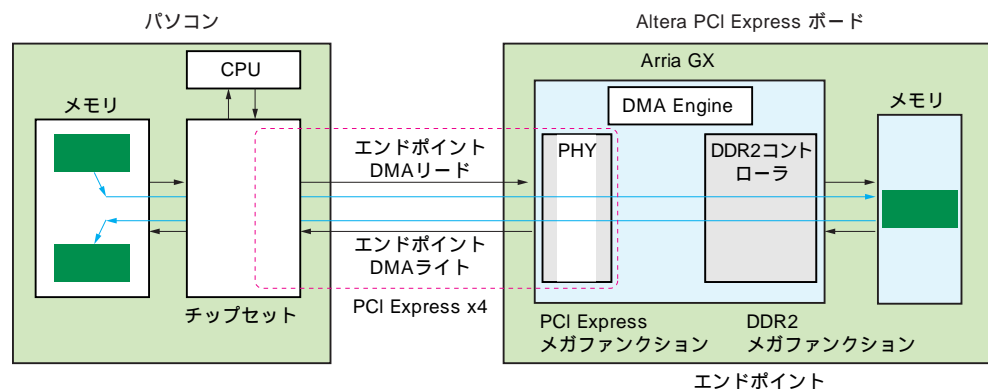
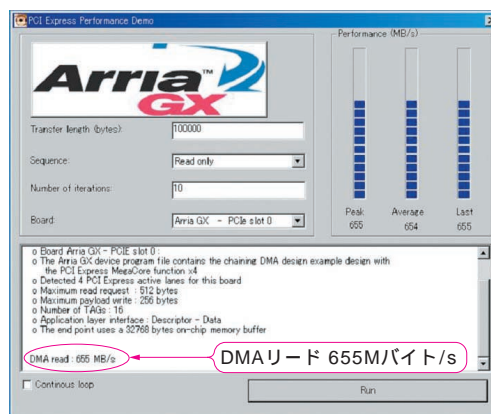
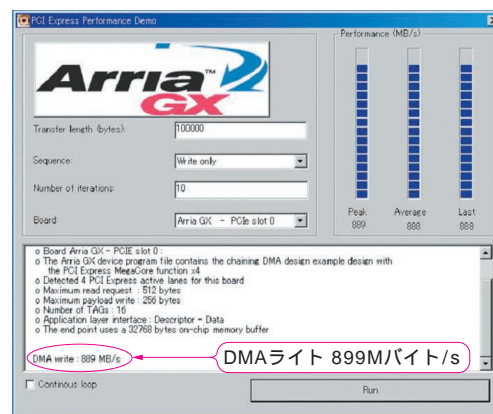



図3
PCI Express（x4）転送速度測定
（a）はPCI Express x4のDMAリード画面．100000バイトのデータを10回DMA転送（リードのみ）して，実際の性能を検証した．（b）はPCI Express x4のDMAライトの画面．100000バイトのデータを10回DMA転送（ライトのみ）して，実際の性能を検証した．

（a）DMAリード結果　（b）DMAライト結果

トは，リードで750Mバイト/s，ライトで900Mバイト/sくらいです．

Arria GXのDMA転送速度の実測値は，リードが655Mバイト/s，ライトが889Mバイト/sでした．理論値を考えると優秀な性能を示しているといえるでしょう．

ちなみに，ライトよりリードが遅いのはチップセットの制限により64バイトのパケットで転送するためです．このサイズはチップセットによって違います．

今回はとりあえずArria GX評価ボードを使用したPCI Expressの動作確認にとどめていますが，実際の設計においてはユーザ回路を組み込んで同様の環境でデバッグできます．ほかのデバッグ・ツールなども利用すれば効率の良い開発が行えるでしょう．

● PCI Express開発の注意点

最後にPCI Expressを扱う上で注意すべき点を述べます．PCI Expressを実装する上でよく遭遇するトラブルは，パソコンのメイン・ボードのBIOSの問題です．例えば，x1は正常に動作するがx4は動かないケースや，特定のスロットでは正常に動作するがそれ以外のスロットでは動作しないケースなどがあります．少し古いメイン・ボードを使う場合には，BIOSを新しくしておくことをお勧めします．

PCI Expressのような新しいインターフェースを初めて採用する場合，エンジニアにとってはかなりリスクが高く大変な作業になりがちです．今回のように，評価ボードを使ってあらかじめPCI Expressやユーザ回路を評価できれば，かなりの負担軽減になるはずです．

参考・引用*文献

(1) Arria GXデバイスハンドブック，
http://www.altera.co.jp/literature/lit-agx.jsp
(2) PCI Express Compiler User Guide,
http://www.altera.co.jp/literature/ug/ug_pci_express.pdf
(3) DDR and DDR2 SDRAM High-Performance Controller User Guide,
http://www.altera.co.jp/literature/ug/ug_ddr_ddr2_sdram_hp.pdf
(4) PCI Express to DDR2 SDRAM Reference Design,
http://www.altera.co.jp/literature/an/an431.pdf

いとう・ひびき